

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Angin

Angin adalah udara yang bergerak yang diakibatkan oleh rotasi bumi dan juga karena adanya perbedaan tekanan udara disekitarnya. Angin bergerak dari tempat bertekanan udara tinggi ke bertekanan udara rendah. Apabila dipanaskan, udara memuai. Udara yang telah memuai menjadi lebih ringan sehingga naik. Apabila hal ini terjadi, tekanan udara turun karena udaranya berkurang. Udara dingin di sekitarnya mengalir ke tempat yang bertekanan rendah tadi. Udara menyusut menjadi lebih berat dan turun ke tanah. Di atas tanah udara menjadi panas lagi dan naik kembali. Aliran naiknya udara panas dan turunnya udara dingin ini dinamakan konveksi (Rosidin, 2007).

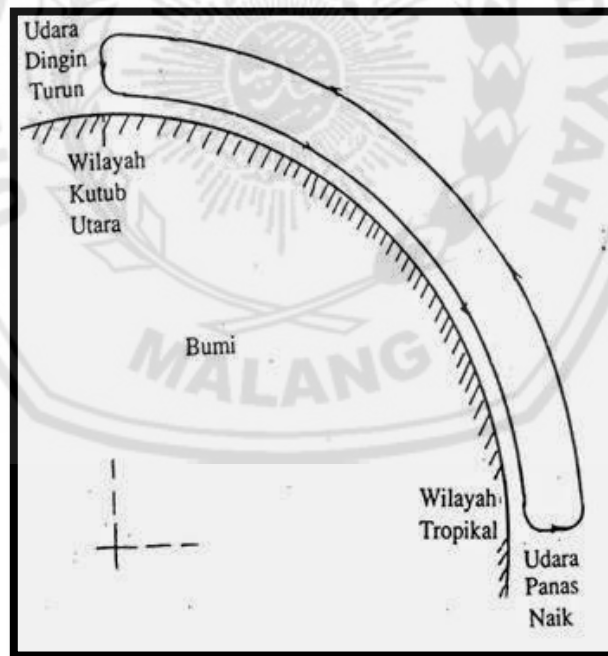
Bumi di mana kita tinggal ini di kelilingi oleh suatu lapisan udara yang disebut dengan atmosfer. Lapisan ini mempunyai ketinggian sekitar 800 km. Pada ketinggian 5500 m atmosfer begitu tipis sehingga apabila seseorang berada ke ketinggian tersebut atau di puncak gunung maka tidak akan bisa bernafas tanpa persediaan oksigen.

Atmosfer selain menyediakan udara untuk bernafas, juga berfungsi sebagai selimut bagi bumi. Panas yang datang dari matahari menimbulkan angin atau udara yang bergerak di atmosfer. Kadang – kadang angin ini bertiup dengan hebat dan penuh energi dan dapat menimbulkan kehancuran, tetapi angin juga dapat di jadikan sebagai sumber tenaga untuk berlayar dan membantu pesawat terbang untuk dapat terbang.

Perbedaan tekanan udara disebabkan oleh perbedaan ketinggian. Daerah – daerah yang dingin cenderung mempunyai tekanan yang tinggi, sedangkan daerah – daerah yang panas mempunyai tekanan yang rendah.

2.1.1 Energi Angin

Pada dasarnya angin terjadi karena ada perbedaan suhu antara panas dan udara dingin. Di daerah khatulistiwa yang panas, udaranya menjadi panas, mengembang dan menjadi ringan, naik ke atas dan bergerak ke daerah yang lebih dingin misalnya daerah kutub. Sebaliknya di daerah kutub yang dingin, udaranya menjadi dingin dan turun ke bawah. Dengan demikian terjadi suatu perputaran udara, berupa perpindahan udara dari kutub. Perpindahan udara seperti ini di kenal sebagai angin pasat. Dibawah mencoba melukiskan terjadinya angin pasat ini secara skematik. Dengan sendirinya hal serupa terjadi pula antara wilayah khatulistiwa dan kutub selatan. Selain angin pasat terdapat juga angin-angin yang lain, misalnya angin musim (angin muson), angin pantai dan angin lokal lainnya. Prinsipnya adalah bahwa angin terjadi karena adanya perbedaan suhu udara di beberapa tempat di muka bumi.



Gambar 2.1 Skema terjadinya angin

(Sumber : Daryanto, 2007. *Potensi Angin untuk Pembangkit Listrik Tenaga Angin* : 15)

2.1.2 Kecepatan Angin

Satu – satunya besaran yang berubah – ubah dan mempunyai arti bagi angin adalah kecepatan yang di lambangkan dengan simbol v Hanya dalam keadaan – keadaan yang sangat luar biasa, seperti pada waktu jatuhnya salju atau hujan, berat jenisnya bervariasi juga, yang dalam keadaan biasa adalah $1,226 \text{ Kg/m}^3$ pada 0°C dan 760 mm tekanan air raksa. Berat jenis akan meningkat sampai paling tinggi $1,5 \text{ Kg/m}^3$. Kecepatan angin itu selain oleh berbagai sebab meteorologi, juga dipengaruhi oleh beberapa keadaan setempat dan wilayah.

Usaha yang dihasilkan angin adalah sebanding dengan kecepatan angin pangkat tiga, sehingga angin dengan kecepatan 5 m/s dapat menghasilkan usaha hampir dua kali lipat daripada angin dengan kecepatan 4 m/s. Sedangkan angin dengan kecepatan 15 m/s tidak diperhitungkan, karena angin itu telah merupakan badai dan secara praktis tidak mempunyai arti sebagai penggerak kincir (Soelaiman, 2006).

2.1.2.1 Pengukuran Kecepatan Angin

Untuk menyatakan kekuatan angin bagi keperluan meteorologi dahulu dipergunakan skala Beaufort, dan juga menggunakan skala Metrik yang berupa perhitungan data dan dapat di ketahui perbedaan jumlah/derajat (Kecepatan dalam m/s). Dalam tabel 2.1 tekanan angin dapat dihitung dari berat daun dengan menggunakan perhitungan $W = 0,08 v^2 \text{ Kg/m}^2$, akan tetapi tekanan angin itu sangat bergantung pada bentuknya benda, yang sebagian diterpa aliran angin dan sebagian lagi di lewati aliran angin.

Dengan demikian maka tekanan udara kepada sebuah tiang bujur sangkar adalah lebih besar dari pada tekanan kepada tiang bundar dengan bagian diameter yang sama dengan sisi bujur sangkar itu. Misalnya, sebuah mangkuk berbentuk setengah bola ditempakan dengan sisinya yang cekung tegak lurus terhadap arah angin, maka tekanan angin adalah kira-kira empat

kali lebih besar dari pada tekanan yang diterima dari angin itu dengan sisi yang cembung menghadap kearah angin.

Sifat ini diterapkan pada alat pengukur kecepatan angin yang disebut dengan *Anemometer*. *Anemometer* terdiri atas sebuah kincir kecil dengan mangkuk berbentuk setengah bola yang berputar pada poros vertikal pada bidang yang hirizontal. Karena semua sisi yang cekung menerima tekanan yang lebih besar dari pada sisi yang cembung, kincir kecil itu akan berputar.

Dari jumlah putaran tiap detik, kecepatan angin dapat diukur dengan sebuah elektro dinamo (layar tampilan), yang tegangannya tergantung pada jumlah putaran. Elektrodinamo itu dapat dihubungkan dengan alat ukur elektrik, yang kecepatan anginnya dapat dibaca langsung (Soelaiman, 2006).



Gambar 2.2 Alat pengukur kecepatan angin (anemometer)

(Sumber : Soelaiman, 2006, *Perancangan Pembuatan dan Pengujian PrototipeSKEA Menggunakan Rotor Savonius* : 13)

Tabel 2.1 Kecepatan dan Fenomena Angin

No	Kecepatan angin		Macam angin	Indicator di daratan
	(m/s)	(km/jam)		
1.	0,0 – 0,5	0 – 1	Reda	Tiap asap tegak
2.	0,6 – 1,7	2 - 6	Sepoi-sepoi	Tiap asap miring
3.	1,8 – 3,3	7 – 12	Lemah	Daun bergerak
4.	3,4 – 5,2	13 – 18	Sedang	Ranting bergerak
5.	5,3 – 7,4	19 – 26	Agak keras	Dahan bergerak
6.	7,5 – 9,8	27 – 35	Keras	Batang pohon bergerak
7.	9,9 – 12,4	36 – 44	Sangat keras	Batang pohon besar bergerak
8.	12,5 – 15,2	45 – 54	Ribut	Dahan patah
9.	15,3 – 18,2	55 – 65	Ribut hebat	Pohon kecil patah
10.	18,3 – 21,5	66 – 77	Badai	Pohon besar tumbang
11.	21,6 – 25,1	78 – 90	Badai hebat	Rumah roboh
12.	25,2 – 29,0	91 – 104	Taifun	Benda berat berterbangan
13.	> 29,0	> 105	Taifun hebat	Benda berterbangan sejauh beberapa kilometer

(Sumber : Daryanto, 2007.*Potensi Angin Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Angin* : 16)

Skala tersebut digunakan untuk mengetahui ciri-ciri dari kecepatan angin apabila dilihat secara kasat mata yang tampak pada benda-benda sekitar.

Tabel 2.2 Syarat- Syarat dan Kondisi Angin

Tabel kondisi angin			
kelas angin	kecepatan angin m/d	kecepatan angin km/jam	Kecepatan angin knot/jam
1	0.3~1.5	1 ~ 5.4	0.58 ~ 2.92
2	1.6 ~ 3.3	5.5 ~ 11.9	3.11 ~ 6.42
3	3.4 ~ 5.4	12.0 ~ 19.5	6.61 ~ 10.5
4	5.5 ~ 7.9	19.6 ~ 28.5	10.7 ~ 15.4
5	8.0 ~ 10.7	28.6 ~ 38.5	15.6 ~ 20.8
6	10.8 ~ 13.8	38.6 ~ 49.7	21 ~ 26.8
7	13.9 ~ 17.1	49.8 ~ 61.5	2.7 ~ 33.3
8	17.2 ~ 20.7	61.6 ~ 74.5	33.5 ~ 40.3
9	20.8 ~ 24.4	74.6 ~ 87.9	40.5 ~ 47.5
10	24.5 ~ 28.4	88.0 ~ 102.3	47.7 ~ 55.3
11	28.5 ~ 32.6	102.4 ~ 117.0	55.4 ~ 63.4
12	>32.6	>118	63.4

(Sumber : Daryanto, 2007. *Potensi Angin Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Angin* :
20)

Ket : Untuk menggerakkan turbin dengan angin, tidak semua kecepatan angin bisa digunakan untuk menggerakkan turbin generator. Kelas angin yang diperbolehkan untuk digunakan sebagai pembangkit listrik adalah antara kelas 3 sampai kelas 8. Jika terlalu pelan, angin tidak kuat menggerakkan turbin, jika terlalu kuat, angin bisa saja merusak turbin sendiri.

Perlu diketahui bahwa kecepatan angin bersifat *fluktuatif*, sehingga pada daerah yang memiliki kecepatan angin rata-rata 5 m/s, akan terdapat saat-saat dimana kecepatan anginnya lebih besar dari 5 m/s pada saat inilah turbin angin *cut-in wind speed* 5 m/s akan bekerja. Sedangkan data hasil dari penelitian kecepatan rata-rata angin di daerah Banjarmasin 5,5 m/s, maka dari itu tergolong sedang.

Tabel 2.3 Data Kecepatan Angin

No	Pengambilan Data Tanggal 11- 20 Juni 2015	Kecepatan rata – rata angin (dalam m/s)
1	11 Juni 2015	5
2	12 Juni 2015	4
3	13 Juni 2015	7,5
4	14 Juni 2015	4.5
5	15 Juni 2015	5
6	16 Juni 2015	6,5
7	17 Juni 2015	4
8	18 Juni 2015	7
9	19 Juni 2015	5
10	20 Juni 2015	6
Jumlah		54,5
Kecepatan Rata – Rata		5.45 m/s

(Sumber : Eko S, 2015. *Rancang Bangun Turbin Angin Horizontal* : 28)

2.1.3 Kerugian Yang Ditimbulkan Oleh Angin

Menurut (sumber : Nanang Rosidin. 2007, Perancangan, Pembuatan, dan Pengujian Prototipe SKEA Menggunakan Rotor Savonius dan Windside Untuk Penerangan Jalan Tol). Dalam perancangan turbin angin, ada beberapa hal yang harus diperhatikan berkaitan dengan kerugian yang ditimbulkan oleh angin. Yaitu :

a) Turbulensi angin

Turbulensi angin adalah kerugian yang ditimbulkan oleh perubahan arah maupun besarnya kecepatan secara tiba-tiba, sehingga mengakibatkan

bentuk dan arah angin yang tidak beraturan. Hal ini dapat menimbulkan getaran serta putaran yang tidak stabil sehingga daya akan menurun.

b) Gesekan angin

Angin yang mengalami pembalikan arah angin sehingga mengakibatkan kerusakan sudu-sudu turbin. Untuk mengatasi hal ini desain penampang sudu dan sudu serang harus tepat.

c) Angin ribut dan hujan lebat

Angin ribut dan hujan lebat biasanya kerap terjadi bersamaan. Hal ini terjadi pada daerah tertentu dan kondisi cuaca yang selalu berubah-ubah.

d) Tiupan debu dan kotoran

Di dalam aliran energi banyak mengandung unsur-unsur partikel yang ikut terbawa pada saat berhembus. Debu merupakan partikel yang ringan, sehingga mudah sekali terbawa oleh angin. Angin juga kadang mengandung garam-garam yang akan merusak sudu karena sifatnya yang korosif. Tiupan angin yang mengandung banyak garam biasanya terdapat pada daerah tepi pantai.

Untuk bertahan dalam kondisi tersebut, desain sudu pada turbin angin lenz ini terbuat dari bahan *fiberglass*.

2.1.4 Letak Geografis

Secara khusus lokasi yang diinginkan dalam pemasangan turbin angin adalah pada daerah yang memiliki kecepatan angin yang relatif konstan, arahnya tak berubah – ubah dan sedikit kemungkinan kecepatan angin yang sangat besar (Eko S, 2015), maka dari itu pertimbangan yang diambil untuk memilih letak geografis, yaitu :

1. Pilih tempat.

Tempat ditentukan sesuai kebutuhan, Kemudian potensi energi angin dikaji dari data yang didapat. Cara ini mempertimbangkan :

- Kondisi sosial budaya setempat dan kepentingan lain.

2. Pilih potensi

Pemilihan tempat berdasarkan besarnya potensi energi angin yang tersedia. Semakin besar kecepatan angin rata – rata di suatu tempat akan semakin baik. Semakin tinggi potensi energi yang tersedia akan memberikan keuntungan berupa ukuran sistem konversi angin yang semakin kecil dan tidak perluterlalu efisien sehingga pembuatannya akan lebih mudah dan murah.

2.2 Turbin Angin

Turbin angin merupakan sebuah alat yang digunakan dalam sistem konversi energi angin (SKEA).Turbin ini berfungsi merubah energi kinetik angin menjadi energi mekanik berupa putaran poros.Putaran poros tersebut kemudian digunakan untuk beberapa hal sesuai dengan kebutuhan seperti memutar dinamo atau generator untuk menghasilkan listrik.Salah satu komponen utama dari turbin angin adalah rotor.Rotor ini berfungsi mengkonversi gerak linier arus angin menjadi gerak putar poros.

Kini turbin angin lebih banyak digunakan untuk mengakomodasi kebutuhan listrik masyarakat, dengan menggunakan prinsip konversi energi dan -10- menggunakan sumber daya alam yang dapat diperbaharui yaitu angin. Walaupun sampai saat ini pembangunan turbin angin masih belum dapat menyaingi pembangkit listrik konvensional (Contoh: PLTD, PLTU, dan lain-lain), turbin masih lebih dikembangkan oleh para ilmuwan karena dalam waktu dekat manusia akan dihadapkan dengan masalah kekurangan sumber daya alam tak dapat diperbaharui (Contoh: batubara, minyak bumi) sebagai bahan dasar untuk membangkitkan listrik (Ajao dan Mahamood, 2009).

2.2.1 Turbin Angin Sumbu Horizontal

Turbin angin jenis ini ialah jenis turbin angin yang paling banyak digunakan sekarang. Turbin ini terdiri dari sebuah menara yang di puncaknya terdapat sebuah baling-baling yang berfungsi sebagai rotor dan menghadap atau membelakangi arah angin. Sebagian besar turbin angin jenis ini yang dibuat sekarang mempunyai dua atau tiga bilah baling-baling walaupun ada juga turbin bilah dengan baling-baling kurang atau lebih daripada yang disebut diatas. Contoh turbin angin sumbu horizontal ditunjukkan pada Gambar (2.3) .



Gambar 2.3 Jenis TASH Berdasarkan *Blade*

(Sumber : Olson, David dan Visser. 2009. *Self-Starting Contra-Rotating Vertical Axis Wind Turbine for Home Heating Applications* : 20)

Biasanya turbin jenis ini memiliki sudu berbentuk *airfoil* seperti bentuk sayap pada pesawat. Pada turbin ini, putaran rotor terjadi karena adanya gaya angkat (*lift*) pada sudu yang ditimbulkan oleh aliran angin. Pada tipe HAWT memanfaatkan efek gaya angkat sebagai gaya penggerak rotor. Oleh karena itu kecepatan linier sudu dapat lebih besar daripada kecepatan angin. Turbin ini cocok digunakan pada tipe angin sedang dan tinggi, dan banyak digunakan sebagai pembangkit listrik skala besar.

A. Kelebihan Turbin Angin Sumbu Horizontal :

Menurut (Sumber : Eko S, 2015. *Rancang Bangun Turbin Angin Horizontal* : 20) yang sebelumnya telah melakukan rancang bangun turbin angin horizontal pada Tugas Akhir Poliban, Kelebihan dari Turbin Angin Sumbu Vertikal, Yaitu :

- Dasar menara yang tinggi membolehkan akses ke angin yang lebih kuat di tempat-tempat yang memiliki geseran angin (perbedaan antara laju dan arah angin) antara dua titik yang jaraknya relatif dekat di dalam atmosfer bumi. Di sejumlah lokasi geseran angin, setiap sepuluh meter ke atas, kecepatan angin meningkat sebesar 20%.

B. Kekurangan Turbin Angin Sumbu Horizontal :

Menurut (Sumber : Eko S, 2015. *Rancang Bangun Turbin Angin Horizontal* : 20) Kelebihan dari Turbin Angin Sumbu Vertikal, Yaitu :

- Menara yang tinggi serta bilah yang panjang sulit diangkat dan juga memerlukan biaya besar untuk pemasangannya, bisa mencapai 20% dari seluruh biaya peralatan turbin angin.
- TASH yang tinggi sulit dipasang, membutuhkan derek yang sangat tinggi dan mahal serta para operator yang tampil.
- Konstruksi menara yang besar dibutuhkan untuk menyangga bilah-bilah yang berat, gearbox, dan generator.
- TASH yang tinggi bisa memengaruhi radar airport.
- Ukurannya yang tinggi merintangi jangkauan pandangan dan mengganggu penampilan landscape.
- Berbagai varian downwind menderita kerusakan struktur yang disebabkan oleh turbulensi.

2.2.2 Turbin Angin Sumbu Vertikal

Ada tiga tipe rotor pada turbin angin jenis ini, yaitu: Savonius, Darrieus, dan H rotor. Turbin Savonius memanfaatkan gaya hambat (*drag*) sedangkan Darrieus dan rotor memanfaatkan gaya angkat(*lift*). (Tedjo Narsoyo Reksoatmodjo. 1994). *Vertical Axis-Differential Drag Windmill*)

2.2.2.1 Turbin Darrieus

Turbin Darrieus pertama diperkenalkan di Perancis pada sekitar tahun 1920-an. Turbin angin sumbu vertikal ini mempunyai sudu tegak yang berputar ke dalam dan ke luar dari arah angin. Contoh Turbin Darrieus ditunjukkan pada Gambar (2.4).



Gambar 2.4 Rotor Darrieus

(Sumber : Tedjo Narsoyo Reksoatmodjo. 1994. *Vertical Axis-Differential Drag Windmill* : 22)

2.2.2.2 Turbin Savonius

Turbin ini ditemukan pertama kalinya di Finlandia oleh sarjana Finlandia bernama Sigurd J. Savonius pada tahun 1922 dan berbentuk S apabila dilihat dari atas. Turbin jenis ini secara umumnya bergerak lebih perlahan dibandingkan jenis turbin angin sumbu horizontal, tetapi menghasilkan torsi yang besar. Konstruksi turbin sangat sederhana, tersusun dari dua buah sudu setengah silinder (lihat Gambar 2.5).



Gambar 2.5 Rotor Savonius

(Sumber : Tedjo Narsoyo Reksoatmodjo. 1994. *Vertical Axis-Differential Drag Windmill* : 23)

A. Kelebihan dari Turbin Angin Sumbu Vertikal

Menurut (Sumber : Tedjo Narsoyo Reksoatmodjo. 1994. *Vertical Axis-Differential Drag Windmill*: 24) Kelebihan dari Turbin Angin Sumbu Vertikal, Yaitu :

- Tidak membutuhkan struktur menara yang besar.
- Sebuah TASV bisa diletakkan lebih dekat ke tanah, membuat pemeliharaan bagian-bagiannya yang bergerak jadi lebih mudah.

- TASV memiliki sudut airfoil (bentuk bilah sebuah baling-baling yang terlihat secara melintang) yang lebih tinggi, memberikan keaerodinamisan yang tinggi sembari mengurangi drag pada tekanan yang rendah dan tinggi.
- Desain TASV berbilah lurus dengan potongan melintang berbentuk kotak atau empat persegi panjang memiliki wilayah tiupan yang lebih besar untuk diameter tertentu daripada wilayah tiupan berbentuk lingkarannya TASH.
- TASV memiliki kecepatan awal angin yang lebih rendah daripada TASH. Biasanya TASV mulai menghasilkan listrik pada 10 km/jam (6 m.p.h.)
- TASV biasanya memiliki tip speed ratio (perbandingan antara kecepatan putaran dari ujung sebuah bilah dengan laju sebenarnya angin) yang lebih rendah sehingga lebih kecil kemungkinannya rusak di saat angin berhembus sangat kencang.
- TASV bisa didirikan pada lokasi-lokasi dimana struktur yang lebih tinggi dilarang dibangun.
- TASV yang ditempatkan di dekat tanah bisa mengambil keuntungan dari berbagai lokasi yang menyalurkan angin serta meningkatkan laju angin (seperti gunung atau bukit yang puncaknya datar dan puncak bukit).
- TASV tidak harus diubah posisinya jika arah angin berubah.
- Kincir pada TASV mudah dilihat dan dihindari burung.

B. Kekurangan Turbin Angin Sumbu Vertikal :

Menurut (Sumber : Tedjo Narsoyo Reksoatmodjo. 1994. Vertical Axis-Differential Drag Windmill, hal 24) Kekurangandari Turbin Angin Sumbu Vertikal, Yaitu :

- Kebanyakan TASV memproduksi energi hanya 50% dari efisiensi TASH karena drag tambahan yang dimilikinya saat kincir berputar. (TASV):
- TASV tidak mengambil keuntungan dari angin yang melaju lebih kencang di elevasi yang lebih tinggi.

- Kebanyakan TASV mempunyai torsi awal yang rendah, dan membutuhkan energi untuk mulai berputar.

2.3 Bagian – Bagian Turbin Angin Sumbu Vertikal

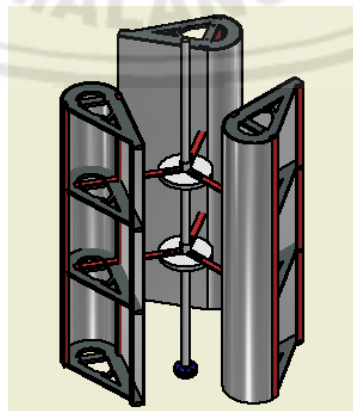
Turbin angin sumbu vertikal memiliki bagian-bagian utama untuk berputar menghasilkan energi listrik. Bagian-bagian tersebut meliputi :

2.3.1 Rotor

Rotor merupakan bagian pertama dari turbin angin yang berputar setelah mendapat tiupan angin. Rotor terdiri dari beberapa komponen yaitu :

1. Blade

Sudu (blade) merupakan penampang dari rotor yang berfungsi sebagai penghambat aliran angin, serta penerus daya menuju poros yang berupa putaran. Bentuk sudu yang akan digunakan dalam desain turbin angin sumbu vertikal type lenz ini mempunyai 3 sudu. Bahan sudu menggunakan lembaran fiberglass yang diperkuat rangka platbesi ukuran θ luar 18 mm dan θ dalam 16 mm. Alasan utama menggunakan fiberglass karena harganya murah, ringan, lentur, tahan terhadap cuaca, dan banyak dijual dipasar lokal.



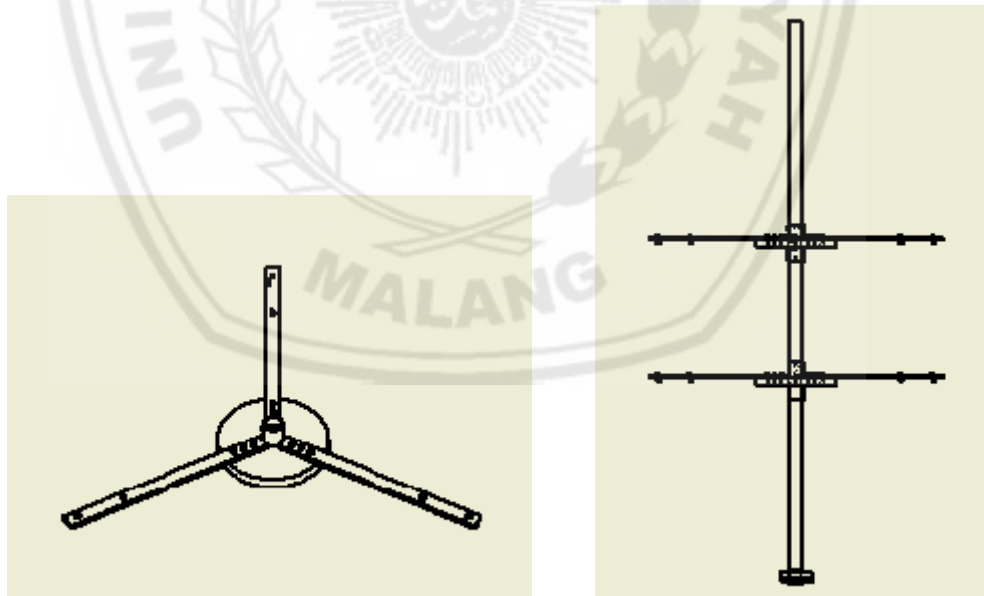
Gambar 2.6 Blade

2. Poros

Poros adalah komponen penerus daya dan putaran dari rotor. Bahan poros harus mampu menahan beban puntir dan lentur yang dihasilkan rotor ketika bekerja (sularso,1987).

Pada desain turbin angin lenz ini menggunakan poros berbahan baja karbon definisi angin yang mempunyai kekuatan tarik diatas 60 kg/mm^2 . Plat lingkaran yang merupakan tempat dudukkan yang menghubungkan blade dengan poros. Diharapkan plat penopang mempunyai konstruksi yang kuat untuk menahan blade ketika mendapat tiupan angin, serta ringan agar poros tidak terbebeani berlebihan.

Desain plat penopang pada turbin angin lenz ini seperti tampak pada gambar 2.5. Bahan menggunakan plat besi θ luar 30 cm dan θ dalam 7 cm digabung dengan poros yang telah diberi lubang agar dapat dikunci dengan mur dan baut. Bentuknya didesain agar tidak terlalu berat namun kuat.



Gambar 2.7 Poros

3. Sayap

Turbin lenz memiliki 3 buah sudu masing-masing diantaranya memiliki beberapa rib, dan rib memiliki beberapa buah sayap yang menentukan ketebalan bentuk blade turbinlenz. Biasanya digunakan 3 atau 4 buah sayap pada masing-masing sudu turbin agar konstruksinya menjadi lebih kuat. Untuk mencari dimensi dari sayap pada rib digunakan dari pengembangan turbin lenz. Wing rib dibuat dari plat besi yang telah di bentuk sesuai dengan desain yang telah ditentukan untuk membentuk blade agar mendapatkan angin.



Gambar 2.7 Sayap

2.4 Perencanaan Blade Turbin Lenz

Untuk merancang sebuah blade turbin lenz, diperlukan langkah-langkah sebagai berikut :(Eric Hau,2005)

Pertama menentukan daya P_b yang diperlukan untuk mengisi baterai adalah :

$$P_b = V.I \quad (2.1)$$

(Eric Hau, Wind Turbines Fundamentals 2005 : 81)

Dimana, P_b : daya battery (watt)

V : tegangan battery (volt)

I : arus (ampere)

Daya generator yang dibutuhkan P_g yang dibutuhkan adalah :

$$P_g = \frac{P_b}{\eta_g} \quad (2.2)$$

(Eric Hau, Wind Turbines Fundamentals 2005 : 81)

Dimana, P_g : daya generator (watt)

P_b : daya battery (watt)

η_g : efisiensi generator.

Maka daya turbin P_t yang dibutuhkan adalah :

$$P_t = \frac{P_g}{\eta_t} \quad (2.3)$$

(Eric Hau, Wind Turbines Fundamentals 2005 : 81)

Dimana, P_g : daya generator (watt)

P_t : daya turbin (watt)

η_t : efisiensi turbin.

Untuk menentukan dimensi rotor blade yang akan didesain, dapat dihitung dengan menggunakan rumus tenaga total. Tenaga total aliran angin adalah sama dengan laju energi kinetik aliran yang datang. (Eric Hau, 2005)

Sehingga :

$$W_{tot} = mKE = m \frac{v^2}{2} \quad (2.4)$$

(Eric Hau, Wind Turbines Fundamentals 2005 : 82)

Dimana, W : tenaga total (watt)

m : laju aliran massa angin (kg/s)

v : kecepatan aliran angin (m/s)

Bilamana suatu “Blok” udara yang mempunyai penampang $A m^2$, dan bergerak dengan kecepatan v m/s, maka banyaknya laju aliran massa angin diberikan oleh persamaan kontinuitas adalah.(Eric Hau,2005)

$$m = \rho . A . v \quad (2.5)$$

(Eric Hau, Wind Turbines Fundamentals 2005 : 82)

Dimana, A : luas penampang melintang aliran (m^2)

v : kecepatan aliran angin (m/s)

ρ : massa jenis angin (kg/m^3)

$$\text{Sehingga, } W_{tot} = \frac{1}{2} \rho . A . v^3 \quad (2.6)$$

(Eric Hau, Wind Turbines Fundamentals 2005 : 83)

Dengan demikian, maka tenaga total yang dapat dihasilkan per satuan waktu adalah :

$$\begin{aligned} P &= W \\ &= 0.5 \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \end{aligned} \quad (2.7)$$

Dimana, w : kecepatan sudut(rad/s)

TSR : perbandingan kecepatan ujung (*tip speed ratio*)

D : diameter rotor blade(m)

v : kecepatan angin (m/s)

2.4.1 Kecepatan Sudut (*Angular Velocity*)

D merupakan diameter atau garis tengah dari keseluruhan sudu lenz dan h adalah tinggi dari sudu menggunakan perhitungan tersebut. Persamaan ini kemudian dapat digunakan untuk memecahkan keluaran jumlah tenaga dari desain turbin, karena daya turbin adalah setara dengan hasil tenaga putaran dan kecepatan sudut. Kecepatan sudut turbin lenz tampak pada persamaan berikut : (Eric Hau,2005)

$$W = \frac{v.TSR}{D/2} \quad (2.8)$$

(Eric Hau, Wind Turbines Fundamentals 2005 : 84)

Dimana, A : luas penampang melintang aliran (m^2)

v : kecepatan aliran angin (m/s)

p : massa jenis angin (kg/m^3)

2.4.2 Gaya Hambat (*Drag Force*)

Putaran rotor blade pada turbin angin tipe lenz diperoleh dari ketiga sudunya dengan cara menangkap angin lalu dilepaskan kembali setelah berputar atau memanfaatkan gaya hambat (*drag*) pada sudunya. Karena memanfaatkan gaya hambat untuk berputarnya, maka terdapat kekuatan atau gaya hambat (*drag force*) yang terjadi pada sudu turbin, yaitu sebesar :

$$F = \frac{1}{2} . p . C_d . A . V^2 \quad (2.9)$$

(Eric Hau, Wind Turbines Fundamentals 2005 : 85)

Dimana, F : kekuatan hambat (drag force)	(Newton)
ρ : massa jenis angin	(kg/m^3)
C_d : koefisien hambat	(drag coefficient)
A : Luas penampang	(m^2)
v : kecepatan aliran angin	(m/s)

2.4.3 Torsi (Torque)

Pada persamaan tersebut diatas, C_d adalah koefisien hambat (*drag coefficient*) dari semua sudu, sehingga dapat kita cari gaya hambat pada ketiga sudunya. Kekuatan yang dihasilkan dari turbin angin itu kemudian dapat digunakan untuk menghitung tenaga putaran atau torsi (*torque*) mekanik pada sistem tersebut.

Tenaga putaran tersebut dapat dihitung menggunakan persamaan: (Eric Hau, 2005).

$$T = F \times r \quad (2.10)$$

(Eric Hau, Wind Turbines Fundamentals 2005 : 85)

Karena memiliki 3 sudu sehingga torsi pada turbin angin lenz dikalikan tiga, lalu pada jari-jari rib, karena yang akan dihitung hanya sampai pada titik tengah luas penampang sudu yang menerima daya angin. Sehingga persamaannya menjadi :

$$T = \frac{3 \times F \times (r - r_{rib})}{2} \quad (2.11)$$

(Eric Hau, Wind Turbines Fundamentals 2005 : 86)

Dimana, T : torsi (torque)	(Nm)
F : kekuatan hambat (drag force)	(Newton)

r : jari-jari sudu (m)

r_{rib} : jari-jari pada rib turbin (m)

ω : kecepatan sudut (rad/s)

2.4.4 Kecepatan Linear Ujung Sudu (*Tip Velocity*)

Kecepatan linear ujung sudu (tip velocity) adalah :

$$V_{tip} = TSR \times V_{angin} \quad (2.12)$$

(Eric Hau, Wind Turbines Fundamentals 2005 : 86)

Dimana, V_{tip} : kecepatan linear ujung sudu (m/s)

TSR : perbandingan kecepatan ujung

v : kecepatan angin (m/s)

2.4.5 Putaran Rotor Blade

Dari perhitungan kecepatan sudut sudu lenz, dapat kita cari putaran rotor blade ketika terkena aliran angin : (Eric Hau, 2005).

$$\omega = \frac{n \cdot 2\pi}{60} \quad (2.13)$$

(Eric Hau, Wind Turbines Fundamentals 2005 : 86)

$$n = \frac{\omega \cdot 60}{2\pi}$$

Dengan diketahuinya torsi dan putaran kita dapat menentukan daya mekanik turbin :

$$P_{mekanik} = \frac{T \times n}{60} \quad (2.14)$$

(Eric Hau, Wind Turbines Fundamentals 2005 : 87)

Dimana, n : putaran rotor blade (rpm)

ω : kecepatan sudut (rad/s)

Setelah melakukan perhitungan pada karakteristik sudu tipe lenz, maka dapat dapat ditentukan daya generator yang akan digunakan pada turbin angin sudu tipe lenz ini dan efisiensi blade turbin dengan daya yang telah direncanakan 161 watt. Efisiensi generator ditansmisikan 0,80. Sehingga perhitungan daya generator menjadi :

$$P_1 = \eta_{\text{turbin}} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \quad (2.15)$$

(Eric Hau, Wind Turbines Fundamentals 2005 : 87)

$$P_g = \eta_{\text{turbin}} \cdot \eta_{\text{generator}} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3$$

Dimana, P_1 : daya turbin (watt)

P_g : daya generator (watt)

η_{turbin} : efisiensi turbin

$\eta_{\text{generator}}$: efisiensi generator

ρ : massa jenis angin (kg/m^3)

A : Luas penampang (m^2)

v : kecepatan aliran angin (m/s)

2.5 Generator

Generator yang dipilih adalah tipe fluksi aksial 3 fasa. Bagian generator terdiri atas sepasang rotor dan satu buah stator. Pada masing-masing rotor menggunakan magnet permanen berjumlah 12 buah, sedangkan pada stator terdapat 9 buah kumparan. Pemilihan pasangan magnet dan kumparan ini didasarkan pada tabel 2.3 berikut ini .

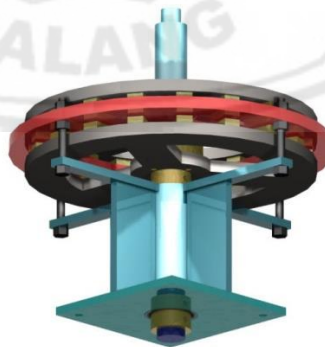
Tabel 2.3 Pasangan kumparan-magnet generator 3 fasa

Coils	Magnets	# Coils Per Phase
6	8	2
9	12	3
12	16	4
15	20	5
18	24	6

(Sumber : Pudjanarsa Astu, 2006 : 50)

Generator fluksi aksial dapat menghasilkan listrik pada putaran rendah serta daya yang lebih tinggi, andal, densitas fluksi yang lebih tinggi. Selain itu juga proses pembuatan generator fluksi aksial lebih mudah dibanding dengan fluksi radial, karena bentuknya yang simple, Digunakan generator 3 fasa karena arus yang dihasilkan lebih stabil daripada generator satu fasa, serta lebih seimbang karena terdapat 3 kumpulan kumparan yang tiap kumparannya dinamakan fasa.

Generator ini terletak di bawah sudu dan langsung tersambung dengan poros sudu turbin angin sumbu vertikal sehingga tidak memerlukan transmisi.



Gambar 2.6 Generator fluksi aksial

(Sumber : Tony Kristianto, 2013.Fabrikasi Magnet Permanen Bonded NdFeB untuk Prototipe Generator : 67)

26 Battery

2.6.1 Pengertian Battery

Battery merupakan sumber tegangan yang berasal dari reaksi kimia, fungsinya sebagai penyimpanan arus listrik yang dihasilkan generator. Ada dua jenis battery, yaitu battery basah dan battery kering. Battery basah terdiri atas karet keras atau kaca yang berbentuk bak dan berisi larutan asam sulfat pekat H_2SO_4 yang berfungsi sebagai larutan elektrolit. Di dalam larutan ini terdapat dua kerangka timbul, yaitu timbal peroksida (PbO_2) sebagai anoda dan timbal murni (Pb) sebagai katoda.

Berbeda dengan battery basah, battery kering tidak memakai cairan, mirip seperti battrey telepon selular. Battery kering tahan terhadap getaran dan suhu rendah. Dimensinya yang kecil bisa menimbulkan keuntungan dan kerugian. Battery jenis ini sama sekali tidak butuh perawatan, tetapi rentan terhadap pengisian berlebih dan pemakaian arus yang sampai habis, karena bisa merusak sel-sel penyimpanan arusnya.

Battery sebagai media penyimpanan energi dan penyuplai arus listrik. Dari 2 jenis battery yang ada, maka dipilih jenis battery kering 12V 7Ah seperti pada yang akan dipakai pada turbin angin ini. Faktor utama pemilihan battery jenis ini karena battery kering tidak membutuhkan perawatan. Dari tipe amperenya merupakan yang terbesar dari battery kering yang tersedia dipasaran. Jika tersedia, battery yang digunakan jauh lebih jika mempunyai spesifikasi 12V 10Ah.



Gambar 2.7 Battery kering

(Sumber : Tony Kristianto, 2013 : 57)

Jumlah tenaga listrik yang disimpan dalam baterai dapat digunakan sebagai sumber tenaga listrik tergantung pada kapasitas baterai dalam satuan ampere jam (AH). Jika pada kotak baterai tertulis 12 volt 60 AH, berarti baterai tersebut mempunyai tegangan 12 volt dimana jika baterai tersebut digunakan selama 1 jam dengan arus pemakaian 60 ampere, maka kapasitas baterai tersebut setelah 1 jam akan kosong (habis). Kapasitas baterai tersebut juga dapat menjadi kosong setelah 2 jam jika arus pemakaian hanya 30 ampere. Disini terlihat bahwa lamanya pengosongan baterai ditentukan oleh besarnya pemakaian arus listrik dari baterai tersebut. Semakin besar arus yang digunakan, maka akan semakin cepat terjadi pengosongan baterai, dan sebaliknya, semakin kecil arus yang digunakan, maka akan semakin lama pula baterai mengalami pengosongan. Besarnya kapasitas baterai sangat ditentukan oleh luas permukaan plat atau banyaknya plat baterai. Jadi dengan bertambahnya luas plat atau dengan bertambahnya jumlah plat baterai maka kapasitas baterai juga akan bertambah.